

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-056044

(43)Date of publication of application : 20.02.2002

(51)Int.Cl. G06F 17/50
H01L 21/82
H01L 29/00

(21)Application number : 2000-239610

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 08.08.2000

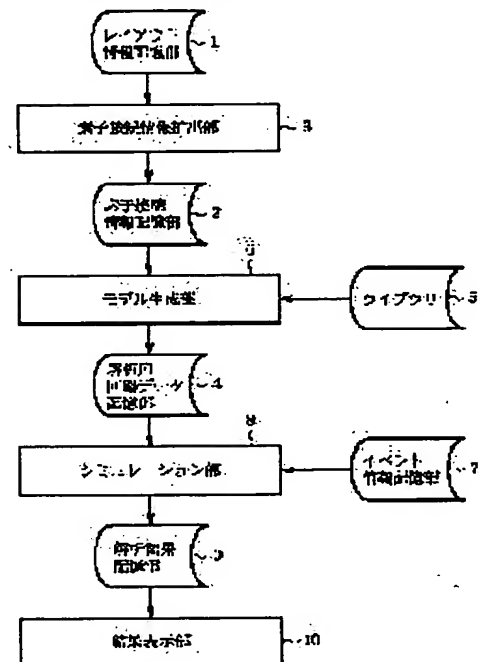
(72)Inventor : TADA AKIRA
SHIBAYAMA YASUNORI

(54) DEVICE AND METHOD FOR ANALYZING VOLTAGE DROP/CURRENT DENSITY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such problems that a dynamic analysis method is not easily applied to a large circuit when the dynamic analysis method is used and that analysis accuracy is not sufficient when a static analysis method is used in the conventional voltage drop/current density analyzing device.

SOLUTION: This voltage drop/current density analyzing device is provided with an element connection information extracting part 3 for extracting element connection information from layout information, a model generating part 6 for generating a circuit for analysis on the basis of the element connection information, and a simulation part for generating current having the waveform of a triangular wave corresponding to a transistor related to a current source from the current source on the basis of the circuit for analysis and calculating voltage drop, etc., in a power feeding system.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



620020170002056044

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-56044

(P2002-56044A)

(43) 公開日 平成14年2月20日 (2002.2.20)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	FI	テーマコード* (参考)
G06F 17/50	666	G06F 17/50	666Z 5B046
			666V 5F064
			666Y
			662G
H01L 21/82	662	H01L 29/00	

審査請求 未請求 請求項の数13 OL (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-239610(P2000-239610)

(22) 出願日 平成12年8月8日 (2000.8.8)

(71) 出願人 00006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 多田 章

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72) 発明者 柴山 泰範

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(74) 代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外1名)

Fターム(参考) 5B046 AA08 JA05 KA06

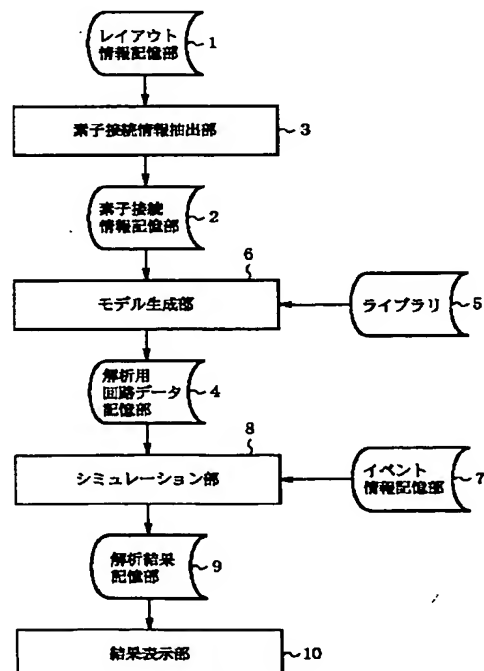
5F064 HH06 HH09 HH12

(54) 【発明の名称】 電圧降下／電流密度解析装置および電圧降下／電流密度解析方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の電圧降下／電流密度解析装置では、動的解析手法を用いる場合には大規模回路への適用が困難であり、静的解析手法を用いる場合には解析精度が不十分であるという課題があった。

【解決手段】 電圧降下／電流密度解析装置において、レイアウト情報から素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部3と、素子接続情報に基づいて解析用回路を作成するモデル生成部6と、解析用回路に基づいて電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて給電系統における電圧降下等を算出するシミュレーション部8とを備える。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、

素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、

解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項2】 少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとして、これらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項3】 少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する充放電電流についての電流波形と、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタへの入力信号の傾きをパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する貫通電流についての電流波形とをライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項4】 シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出することを特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項5】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、

素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、

解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する方形波、 50

2

シミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項6】 方形波シミュレーション部で電圧降下が最大となるクロック周期を特定した後に、当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する三角波シミュレーション部を備えることを特徴とする請求項5記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項7】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電気的な接続情報に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、

素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、

解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した1つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項8】 各論理素子について、少なくとも出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値をパラメータとして、当該パラメータに応じた電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項7記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項9】 各論理素子について、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項7記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項10】 シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出することを特徴とする請求項7記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体集積回路の電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度をシミュレーションにより求める電圧降下／電流密度解析装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の電圧降下／電流密度解析装置で

3

は、電源配線または接地配線に接続された各トランジスタを流れる電流値を用いて、配線抵抗に基づいて電圧降下を計算するとともに、配線幅に基づいて電流密度を計算する。各トランジスタを流れる電流値を求める手段としては、動的解析手法と静的解析手法とがある。

【0003】動的解析手法では、一般的にレイアウト情報に基づいてトランジスタ、配線パターン等に係る解析モデルを作成し、テストパターンに応じて回路動作を模擬して、電流値等を算出する。したがって、テストパターンに応じた回路シミュレーションを実行して、時々刻々のピーク電流を求めることができ、高精度な解析を実現することができる。

【0004】また、静的解析手法については、例えばCMOSロジック回路を例に説明すると、HからLまたはLからHの論理変化（イベント）が生じる際に各トランジスタを流れる総電荷量 Q は、当該トランジスタの負荷容量 C と電源電圧 V との積により決定される（ $Q = CV$ ）。したがって、クロック周波数を f 、全クロック周期のうち、クロックのイベント発生回数に対する各トランジスタのイベント発生回数の割合（動作率）を x とすると、各トランジスタの平均電流 I は、 $I = C * V * f * x$ として求められる。そして、この平均電流計算式により求めた電流値から電圧降下等を算出するので、解析処理を高速に実施することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の電圧降下／電流密度解析装置は以上のように構成されているので、動的解析手法を用いる場合には回路が大規模化するとノード数が膨大となって計算時間が非常にかかり大規模回路への適用が困難であり、また静的解析手法を用いる場合には実動作に基づいたピーク電流を評価することができず解析精度が不十分であるという課題があった。

【0006】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、半導体集積回路内の給電系統における電圧降下および電流密度を高速かつ高精度に算出することができる電圧降下／電流密度解析装置を得ることを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線お

4

よび接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えるようにしたものである。

【0008】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとして、これらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるようにしたものである。

【0009】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する充放電電流についての電流波形と、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタへの入力信号の傾きをパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する貫通電流についての電流波形とをライブラリデータとして登録するライブラリを備えるようにしたものである。

【0010】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出するようにしたものである。

【0011】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する方形波シミュレーション部とを備えるようにしたものである。

【0012】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、方形波シミュレーション部で電圧降下が最大となるクロック周期を特定した後に、当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する三角波シミュレーション部を備えるようにしたものである。

【0013】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各論

理素子並びに各論理素子間の電気的な接続情報に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した1つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えるようにしたものである。

【0014】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、各論理素子について、少なくとも出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値をパラメータとして、当該パラメータに応じた電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるようにしたものである。

【0015】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、各論理素子について、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるようにしたものである。

【0016】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装置は、シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出するようにしたものである。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1は、この発明の実施の形態1による電圧降下／電流密度解析装置の構成を示すブロック図である。図1において、1はマスクパターンデータとしてのレイアウト情報を記憶するレイアウト情報記憶部である。図2には、半導体集積回路に係るレイアウトの一例を示す。また、2はレイアウト上に実現されたトランジスタ、および配線に係る寄生抵抗についての素子情報並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を記憶する素子接続情報記憶部、3はレイアウト情報を解析して上記素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部である。図3には、素子接続情報の一例を示す。また、4は素子接続情報に基づいて電圧降下／電流密度解析を実行可能にモデル化を行った解析用回路に係るデータを記憶する解析用回路データ記憶部、5は解析用回路を作成するために回路内の電流源から流される電流波形に係るデータ等のライブラリデータを登録したライブラリ、6は素子接続情報から解析用回路を生成するモデル生成部である。図4には、解析用回路の一例を示す。また、7は論路回路の出力信号の反転

等に係る情報として与えられるイベント情報を記憶するイベント情報記憶部、8は解析用回路に基づいて各イベントに応じた電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部、9はシミュレーション部8により算出された電圧降下および電流密度等の解析結果を記憶する解析結果記憶部、10は解析結果を表示する結果表示部である。

【0018】次に動作について説明する。まず、本願発明ではトランジスタを流れる電流を三角波で表現するために、様々な条件下における三角波についてのライブラリを作成しておく。図5は、三角波として与えられるトランジスタを流れる電流波形の一例を示す図である。この三角波の形状に係る三角波の底辺長さ（電流変化終了時刻－電流変化開始時刻）および頂点座標（ピーク時刻、ピーク電流）に係るデータは、充放電経路上のトランジスタのゲート長、ゲート幅、トランジスタについての負荷容量値および電源電圧をパラメータとしたデータテーブルにより与えられる。なお、通常はプロセスにより電源電圧は所定の値に設定されるので、幾つかの想定される電源電圧毎に、トランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタについての負荷容量値をパラメータとしたデータテーブルを作成することも可能である。そして、トランジスタのゲート長、ゲート幅、負荷容量値および電源電圧の組み合わせに対応する電流波形をそれぞれ求めて、これらの電流波形をライブラリデータとしてライブラリ5に予め登録しておく。なお、図5において、時刻ゼロがイベント発生時刻に相当する。

【0019】素子接続情報抽出部3によりレイアウト情報から素子接続情報を抽出すると、モデル生成部6は、抽出された素子接続情報から充放電経路毎に回路素子をグループ化して、各グループ毎の負荷容量Cを計算する。図6は、素子接続情報に係るグループ化について示す図である。グループ化を実施する際には、回路を構成する各段のトランジスタの出力部から電源配線または接地配線に至るまでの経路探索を実施して、当該充放電経路または放電経路にあるトランジスタをグループ化する方法等が用いられる。この結果、図6の楕円形で囲まれた部分で示されるように、充放電経路に関わるトランジスタをグループ化することができる。充放電の対象となる負荷容量は、配線の寄生容量と後段グループのトランジスタのゲート端子容量の合計として与えられる。

【0020】上記のように、充放電経路毎にグループ化されたトランジスタのグループ毎の負荷容量Cが計算されると、電源電圧をVとすれば、充放電される総電荷量は $Q=C \cdot V$ となるので、面積が総電荷量と等しくなるような三角波による電流波形を用いることにより、ピーク電流を評価することができる。この際、充放電経路上のトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等のパラメータに基づいてライブラリデータに登録された三角波のデータを線形補間することで、充放電経路上

のトランジスタに対応する三角波の電流波形を生成する。そして、図4に示されるように、生成した電流波形を発生する電流源を電源配線または接地配線と、充放電経路のトランジスタの間に挿入し、各トランジスタをスイッチに置き換えた解析用回路を生成する。なお、各トランジスタに対応して求められた三角波に基づく電流波形は、解析用回路において各電流源の属性データとして付加されているものとする。

【0021】次に、シミュレーション部8において、論理シミュレーション時に保存しておいたイベント情報を読み込んで、解析用回路のスイッチをオン/オフさせる。この際、スイッチがオンするイベント毎に電流源から対応する三角波の波形を有する電流を発生させるが、実際には充放電経路上のスイッチがすべてオンしたときのみ電流が流れることになる。上記のように、イベントに連動した電流が解析用回路を流れるために、時々刻々の電圧降下を計算できて、実動作に近いピーク電流を考慮した電圧降下を高速かつ高精度に求めることが可能となる。

【0022】ここで、例を挙げて上記のシミュレーションについて説明する。図7は、解析対象の半導体集積回路に係る素子接続情報を示す図である。図8は、イベント情報としてのゲート電位の変化を示す図である。図9は、イベントに連動して各トランジスタを流れる電流の電流波形を示す図である。これらの図において、MP1、MP2はPチャネルトランジスタ、MN1、MN2はNチャネルトランジスタ、N1はトランジスタMP1およびトランジスタMN1のゲートに共通に接続された信号線、N2はトランジスタMP2およびトランジスタMN2のゲートに共通に接続された信号線である。図8に示されるように、時刻T1、T2、T3において信号線N1、N2の電圧レベルすなわちトランジスタのゲート電位に変化が生じると、当該イベントの変化に応じて、時刻T1、T2、T3においてそれぞれトランジスタMP1、MP2、MN1に対応した電流源から属性データとして与えられた三角波の電流波形を有する電流が流れ、時間軸上で変化するこれらトランジスタを流れる電流の電流値に基づいて時々刻々の給電系統における電圧降下を計算することができる。

【0023】また、図1に示される素子接続情報抽出部3により、電源配線および接地配線の配線幅を抽出することで、シミュレーション部8により算出される時々刻々の電流値と配線幅とから電流密度を計算できるので、実動作に近いピーク電流を考慮した電流密度を高速かつ高精度に求めることも可能である。

【0024】以上のように、この実施の形態1によれば、半導体集積回路に係るレイアウト情報から素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部3と、素子接続情報に基づいて解析用回路を作成するモデル生成部6と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電

流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の電流波形を有する電流を発生させて電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部8とを備えるように構成したので、イベントに連動して実際の電流波形に近い三角波状の電流波形を有する電流が流れるから、実動作に近いピーク電流を考慮した電圧降下および電流密度を高速かつ高精度に求めることができるという効果を奏する。

【0025】また、トランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等をパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリ5を備えるように構成したので、実際に充放電経路上に配置されたトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等に基づいてライブラリ5に登録された三角波のデータを線形補間することで、充放電経路上のトランジスタに正確に対応した三角波の電流波形を生成することができて、実動作に近いピーク電流を精度よく再現することができるから、電圧降下および電流密度の解析精度をより向上することができるという効果を奏する。

【0026】実施の形態2. この発明の実施の形態2による電圧降下/電流密度解析装置は、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリに登録することを特徴とする。例えばインバータ等の回路素子については、入力信号の傾きが大きくなると、出力側の容量負荷を充放電する電流に加えて貫通電流の影響が大きくなる。したがって、精度向上を図るために、トランジスタのゲート長、ゲート幅、トランジスタへの入力信号の傾きおよび電源電圧の組み合わせに対応する貫通電流に係る電流波形をそれぞれ求めて、これらの波形をライブラリデータとしてライブラリ5に登録する。なお、貫通電流についても、ライブラリを構成するに際して、トランジスタのゲート長、ゲート幅、トランジスタへの入力信号の傾きおよび電源電圧をパラメータとしてデータテーブルを作成する。また、充放電電流の場合と同様に、プロセスに応じて想定される幾つかの電源電圧毎にトランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタの入力信号の傾きをパラメータとしてデータテーブルを作成することも可能である。図10は、シミュレーションで用いられる電流波形の一例を示す図である。図10において、A1はトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等のパラメータに応じて生成される充放電電流に係る電流波形、A2はトランジスタのゲート長、ゲート幅および入力信号の傾き等のパラメータに応じて生成される貫通電流に係る電流波形である。各トランジスタを流れる電流についての電流波形は、当該トランジスタに対応する充放電電流に係る信号波形A1と貫通電流に係る信号波形A2とを合成することで得られる。

【0027】次に動作について説明する。素子接続情報

の抽出および解析用回路の生成に係る動作は実施の形態 1 と同様であるので、その説明を省略する。シミュレーションについては、イベント情報、並びに当該イベントに係る入力信号の傾きを入力して、ライブラリデータに基づいて導かれた各トランジスタについての充放電電流に係る電流波形と貫通電流に係る電流波形とを合成して得た電流波形を有する電流を、スイッチがオンするイベント毎に当該スイッチに係るトランジスタに対応する電流源から発生させ、時々刻々の電圧降下を計算する。また、実施の形態 1 と同様に、素子接続情報抽出部 3 により、電源配線および接地配線の配線幅を抽出することで、電流密度を計算することができる。なお、イベントにおける入力信号の波形の傾きの算出については、前段のトランジスタの駆動能力を負荷容量で割るなどの方法が用いられる。

【0028】以上のように、この実施の形態 2 によれば、トランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等のパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する充放電電流に係る電流波形と、トランジスタのゲート長、ゲート幅および入力信号の傾き等のパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する貫通電流に係る電流波形とをライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、イベント毎にトランジスタの特性等に応じた充放電電流に係る電流波形とトランジスタの入力信号の傾き等に応じた貫通電流に係る電流波形とを導いて、これら 2 つの電流波形を合成して得た電流波形を有する電流を電流源から発生させて、貫通電流をも考慮した実動作に近いピーク電流に基づいて計算を実施するから、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0029】実施の形態 3. この発明の実施の形態 3 による電圧降下／電流密度解析装置は、一度算出した電圧降下に基づいて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度シミュレーションを実施することを特徴とする。実際の回路動作では、電源配線または接地配線に電圧降下が生じると、トランジスタを流れる電流値が変化する。したがって、電源配線または接地配線における電圧降下に応じて電流源から発生する電流値を補正する必要が生じる。

【0030】次に動作について説明する。実施の形態 1 と同様に、図 1 に示されたシミュレーション部 8 により各イベントに応じて電源配線または接地配線における電圧降下を算出する。次に、算出された電圧降下に基づいて電源電圧に係るパラメータを変更してライブラリより適切な電流波形を選択し、電流源から発生する電流の電流値を線形補間等を用いて補正した上で、再度シミュレーション部 8 により電源配線または接地配線における電圧降下を算出する。

【0031】以上のように、この実施の形態 3 によれば、シミュレーション部 8 が、算出した電圧降下に基づ

いて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電流源配線または接地配線における電圧降下並びに電流密度を算出するように構成したので、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0032】実施の形態 4. この発明の実施の形態 4 による電圧降下／電流密度解析装置は、電圧降下および電流密度をクロック周期単位で計算することを特徴とする。実施の形態 1 等においては、シミュレーション部 8 において時々刻々の電圧降下および電流密度を計算していた。これに対して、この実施の形態 4 では、電流波形としてピーク電流値を電流値とする方形波を用いるとともに、クロックサイクルベースのイベント情報を利用したサイクルベースシミュレータにより解析を実施することで、クロック周期単位で電圧降下および電流密度を計算することにより、シミュレーションをより高速に実施する。

【0033】以上のように、この実施の形態 4 によれば、電流波形としてピーク電流値を電流値とする方形波を用いてクロック周期単位で電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部を備えるように構成したので、シミュレーションをより高速に実施することができるから、より多くのテストパターンすなわちより多くの実動作条件下で電圧降下／電流密度解析を実施することができるという効果を奏する。

【0034】実施の形態 5. この発明の実施の形態 5 による電圧降下／電流密度解析装置は、方形波を用いたシミュレーションを実施した後に、電圧降下が最大となることが特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について三角波を用いたシミュレーションを実施することを特徴とする。すなわち、解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の波形を有する電流を発生させて電圧降下等を算出する方形波シミュレーション部と、解析用回路に基づきイベントに応じて電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電圧降下等を算出する三角波シミュレーション部とを備える。

【0035】次に動作について説明する。実施の形態 4 と同様に、電流波形としてピーク電流値を電流値とする方形波を用いるとともに、クロックサイクルベースのイベント情報を利用したサイクルベースシミュレータにより解析を実施して、クロック周期単位で電圧降下および電流密度を計算する。そして、上記の方形波を用いたシミュレーション結果に基づいて、電圧降下が最大となるクロック周期を特定する。次に、当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応

11

した三角波の波形を有する電流を発生させて時々刻々の電圧降下および電流密度を計算する。

【0036】以上のように、この実施の形態5によれば、方形波を用いて電圧降下等を算出する方形波シミュレーション部と、方形波シミュレーション部で電圧降下が最大となるクロック周期を特定した後に当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて時々刻々の電圧降下および電流密度を算出する三角波シミュレーション部とを備えるように構成したので、高速に実行できる方形波を用いたシミュレーションにより解析上の重要箇所を特定して、重要箇所については三角波を用いたシミュレーションにより精密な解析を実施することができるから、電圧降下/電流密度解析を効率的に実施することができるという効果を奏する。

【0037】実施の形態6..実施の形態1から実施の形態5までの電圧降下/電流密度解析装置はトランジスタレベルで設計されるフルカスタム設計手法を主に対象としていたが、この実施の形態6以降の実施の形態では、論理合成などの手段で論理素子の接続情報を作成して当該接続情報を基に自動配置配線によってレイアウトを生成するゲートアレイ/セルベース設計手法を主な対象とする。なお、シミュレーションを実施する電圧降下/電流密度解析装置の基本構成は、図1に示された電圧降下/電流密度解析装置と同様であるのでその説明を省略する。

【0038】次に動作について説明する。まず、各論理素子を流れる電流の波形情報については、最も電流値が大きくなると考えられる出力ピンに接続するトランジスタに着目して、この出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値をパラメータとして、当該パラメータに応じた三角波による電流波形を予めライブラリに登録しておく。ここで出力ピンに接続するトランジスタに着目することについて説明すると、ゲートアレイ/セルベース設計手法では、論理素子のレイアウトがライブラリとして用意されており、その内部のトランジスタ間の配線は非常に短くなっている。このために、負荷容量は小さな値となる。しかし、出力ピンに接続するトランジスタは、自動配置配線プログラムによる長い配線を経由して他の複数の論理素子を駆動するために、負荷容量が大きな値となる。したがって、まず出力ピンに接続するトランジスタの電流波形情報を出力信号のイベントに応じて考慮する必要がある。

【0039】出力ピンに接続するトランジスタに係る電流波形について、以下に例を挙げて説明する。図11は、ANDゲートに係る素子接続情報を示す図である。図12は、イベント情報としての信号線のゲート電位の変化を示す図である。図13は、イベントに連動して各

12

トランジスタを流れる電流の電流波形を示す図である。これらの図において、A、B、Yは信号線、MP1、MP2、MP3はPチャネルトランジスタ、MN1、MN2、MN3はNチャネルトランジスタである。図12に示すようなイベントが発生したとすると、図13に示されるように信号線Yに係るイベントに応じてトランジスタMP3に発生した電流波形をANDゲート全体の電流波形とみなす。実際には、信号線A、Bのイベントにより他のトランジスタでも電流が流れるので、信号線A、Bのイベントに応じた電流波形を加算する方法も考えられる。なお、もっと複雑な順序回路になると、入出力ピンのイベントのみで論理素子内部のすべての電流波形を決定することは困難となるので、順序回路における各素子の特性に加えて各素子に係るイベントもパラメータとしてライブラリ化することも考えられる。

【0040】上記のように各論理素子についての出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値等をパラメータとして、当該パラメータに応じた三角波による電流波形を予めライブラリに登録した状態において、モデル生成部6では各論理素子を電流源等に置き換えるとともに、電源配線および接地配線を寄生抵抗および寄生容量等に置き換えて解析用回路を生成する。この際、各電流源に対しては、ライブラリ化された電流波形情報を各論理素子について出力ピンに接続されたトランジスタの負荷容量値に応じて補正することで得た電流波形を属性データとして付加しておく。次に、シミュレーション部8では、論理シミュレーション時に保存しておいたイベント情報を読み込んで、イベント毎に各論理素子に係る電流源から、属性データとして与えられる電流波形を有する電流を発生させて時々刻々の電圧降下/電流密度を計算する。

【0041】以上のように、この実施の形態6によれば、レイアウト情報から各論理素子に係る素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部3と、素子接続情報に基づいて論理素子を単位とした解析用回路を作成するモデル生成部6と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した三角波を基本とした波形を有する電流を発生させて電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部8とを備えるように構成したので、シミュレーションをすべて論理素子に基づくゲートレベルで処理することができるから、トランジスタレベルでの処理に比べて高速で大規模回路への適用が可能になるという効果を奏する。

【0042】また、各論理素子について、出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値等をパラメータとして、当該パラメータに応じた三角波による電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、最も電流値が大きくなることが想定される出力ピンに接続するトランジスタに係るピーク電流

13

について確実に解析することができるという効果を奏する。

【0043】実施の形態7. この発明の実施の形態7による電圧降下／電流密度解析装置は、各論理素子について充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリに登録することを特徴とする。なお、充放電電流に係る電流波形と貫通電流に係る電流波形との合成等に係る動作については、実施の形態2と同様であるのでその説明を省略する。

【0044】以上のように、この実施の形態7によれば、各論理素子について、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、各論理素子の特性や入力信号の変化等に応じて導かれる充放電電流に係る電流波形と貫通電流に係る電流波形とを合成して得た電流波形を有する電流を電流源から発生させて、貫通電流をも考慮した実動作に近いピーク電流に基づいて計算を実施するので、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0045】実施の形態8. この発明の実施の形態8による電圧降下／電流密度解析装置は、一度算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度シミュレーションを実施することを特徴とする。実際の回路動作では、電源配線または接地配線に電圧降下が生じると、各論理素子を流れる電流値が変化する。したがって、電源配線または接地配線における電圧降下に応じて電流源から発生する電流値を補正する必要がある。

【0046】次に動作について説明する。実施の形態6と同様に、シミュレーション部により各イベントに応じて電源配線または接地配線における電圧降下を算出する。次に、算出された電圧降下に基づいて電源電圧に係るパラメータを変更してライブラリより適切な電流波形を選択し、電流源から発生する電流の電流値を線形補間等を用いて補正した上で、再度シミュレーション部により電源配線または接地配線における電圧降下を算出する。

【0047】以上のように、この実施の形態8によれば、シミュレーション部8が、算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線または接地配線における電圧降下並びに電流密度を算出するように構成したので、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0048】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、レイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて充放

14

電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えるように構成したので、イベントに連動して実際の電流波形に近い三角波の波形を有する電流が流されるから、実動作に近いピーク電流を考慮した電圧降下および電流密度を高速かつ高精度に求めることができるという効果を奏する。

【0049】この発明によれば、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとして、これらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、実際に充放電経路上に配置されたトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値等に基づいてライブラリに登録された三角波のデータを線形補間することで、充放電経路上のトランジスタに正確に対応した三角波の電流波形を生成することができ、実動作に近いピーク電流を精度よく再現することができるから、電圧降下および電流密度の解析精度をより向上することができるという効果を奏する。

【0050】この発明によれば、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する充放電電流についての電流波形と、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタへの入力信号の傾きをパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する貫通電流についての電流波形とをライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、イベント毎にトランジスタの特性等に応じた充放電電流に係る電流波形とトランジスタの入力信号の傾き等に応じた貫通電流に係る電流波形とを導いて、これら2つの電流波形を合成して得た電流波形を有する電流を電流源から発生させて、貫通電流をも考慮した実動作に近いピーク電流に基づいて計算を実施するから、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0051】この発明によれば、シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出するように構成したので、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0052】この発明によれば、レイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報と

15

して与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電システムにおける電圧降下および電流密度を算出する方形波シミュレーション部とを備えるように構成したので、クロックサイクルベースでシミュレーションをより高速に実施することができるから、より多くのテストパターンすなわちより多くの実動作条件下で電圧降下／電流密度解析を実施することができるという効果を奏する。

【0053】この発明によれば、方形波シミュレーション部で電圧降下が最大となるクロック周期を特定した後に、当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電システムにおける電圧降下および電流密度を算出する三角波シミュレーション部を備えるように構成したので、高速に実行できる方形波を用いたシミュレーションにより解析上の重要箇所を特定して、重要箇所については三角波を用いたシミュレーションにより精密な解析を実施することができるから、電圧降下／電流密度解析を効率的に実施することができるという効果を奏する。

【0054】この発明によれば、レイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電気的な接続情報に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した1つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電システムにおける電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えるように構成したので、シミュレーションをすべて論理素子に基づくゲートレベルで処理することができるから、トランジスタレベルでの処理に比べて高速で大規模回路への適用が可能になるという効果を奏する。

【0055】この発明によれば、各論理素子について、少なくとも出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値をパラメータとして、当該パラメータに応じた電流波

16

形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、最も電流値が大きくなるのが想定される出力ピンに接続するトランジスタに係るピーク電流について確実に解析することができるという効果を奏する。

【0056】この発明によれば、各論理素子について、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えるように構成したので、各論理素子の特性や入力信号等に応じて導かれる充放電電流に係る電流波形と貫通電流に係る電流波形とを合成して得た電流波形を有する電流を電流源から発生させて、貫通電流をも考慮した実動作に近いピーク電流に基づいて計算を実施するから、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【0057】この発明によれば、シミュレーション部が、算出した電圧降下値に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出するように構成したので、より高精度な電圧降下／電流密度解析を可能とすることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1による電圧降下／電流密度解析装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 半導体集積回路に係るレイアウトの一例を示す図である。

【図3】 素子接続情報の一例を示す図である。

【図4】 解析用回路の一例を示す図である。

【図5】 三角波として与えられるトランジスタを流れる電流の電流波形の一例を示す図である。

【図6】 素子接続情報についてのグループ化を示す図である。

【図7】 解析対象の半導体集積回路に係る素子接続情報を示す図である。

【図8】 イベント情報としてのゲート電位の変化を示す図である。

【図9】 イベントに連動して各トランジスタを流れる電流の電流波形を示す図である。

【図10】 シミュレーションで用いられる電流波形の一例を示す図である。

【図11】 ANDゲートに係る素子接続情報を示す図である。

【図12】 イベント情報としてのゲート電位の変化を示す図である。

【図13】 イベントに連動して各トランジスタを流れる電流の電流波形を示す図である。

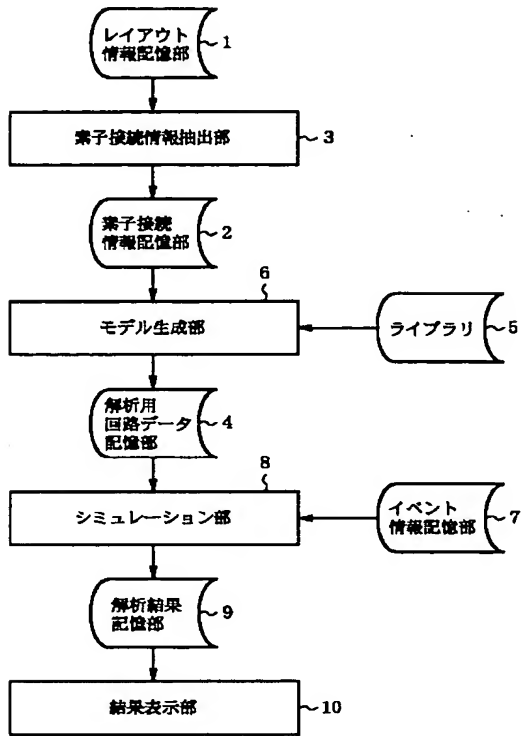
【符号の説明】

- 1 レイアウト情報記憶部、2 素子接続情報記憶部、
- 3 素子接続情報抽出部、4 解析用回路データ記憶

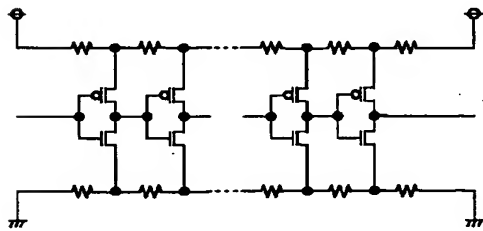
50

部、5 ライブラリ、6 モデル生成部、7 イベント
情報記憶部、8 シミュレーション部、9 解析結果記

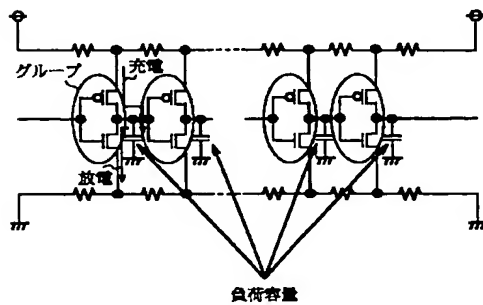
【図 1】



【図 3】



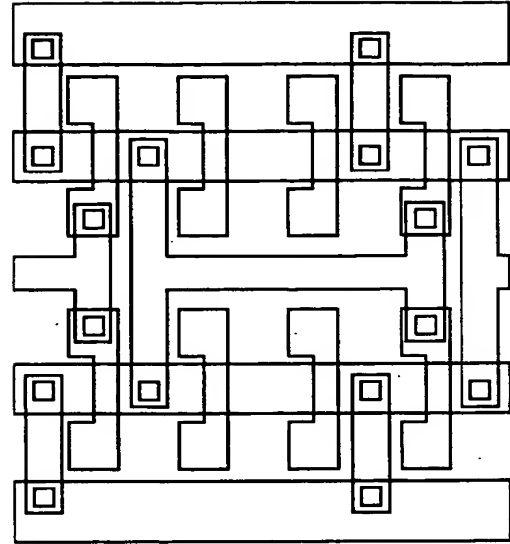
【図 6】



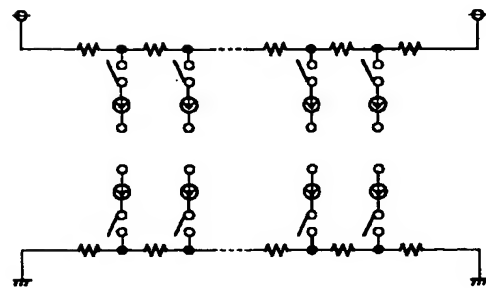
憶部、10 結果表示部。

18

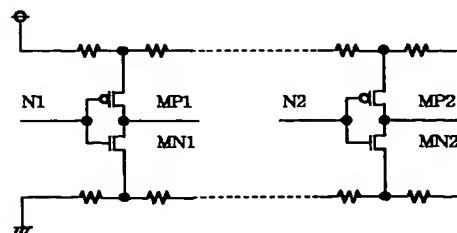
【図 2】



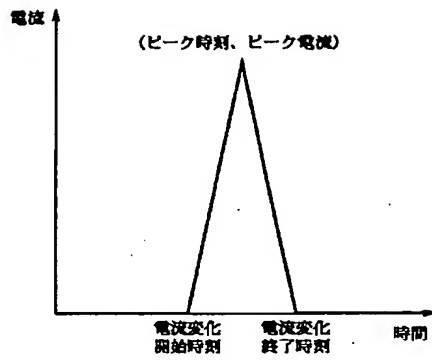
【図 4】



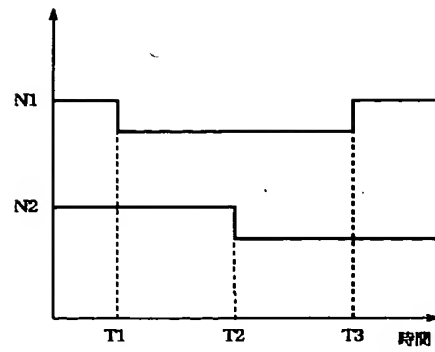
【図 7】



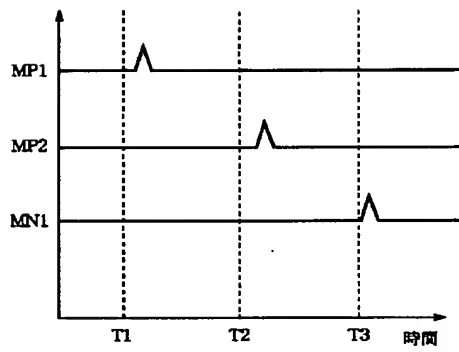
【図 5】



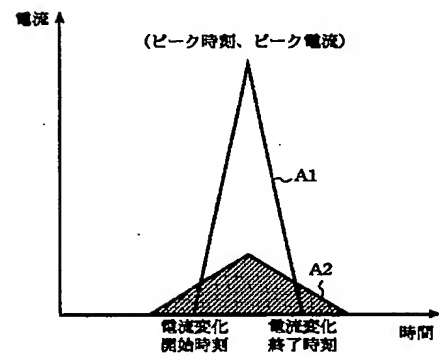
【図 8】



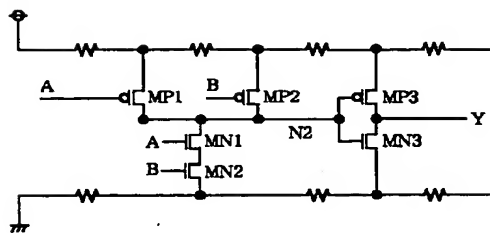
【図 9】



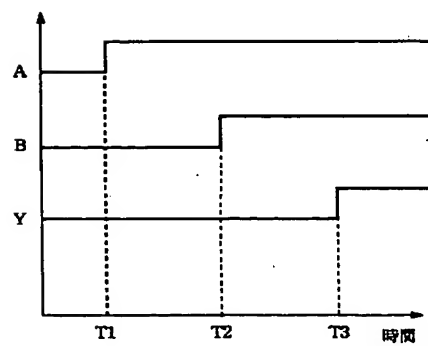
【図 10】



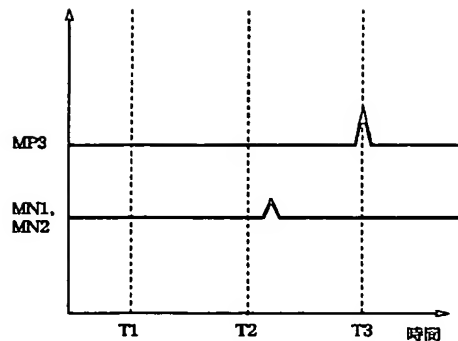
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【手続補正書】

【提出日】平成13年1月9日(2001. 1. 9)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 電圧降下／電流密度解析装置および電
 圧降下／電流密度解析方法

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、
 素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、
 解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電システムにおける電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項2】 小なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとして、これらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを

特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

20 【請求項3】 少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅および負荷容量値をパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する充放電電流についての電流波形と、少なくともトランジスタのゲート長、ゲート幅およびトランジスタへの入力信号の傾きをパラメータとしてこれらパラメータの組み合わせにそれぞれ対応する貫通電流についての電流波形とをライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項4】 シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出することを特徴とする請求項1記載の電圧降下／電流密度解析装置。

30 【請求項5】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、
 素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、
 解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電システムにおける電圧降下および電流密度を算出する方形波シミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

50 【請求項6】 方形波シミュレーション部で電圧降下が

23

最大となるクロック周期を特定した後に、当該特定されたクロック周期または特定されたクロック周期近傍の時間帯について、解析用回路に基づきイベントに応じて充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する三角波シミュレーション部を備えることを特徴とする請求項 5 記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項 7】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電氣的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する素子接続情報抽出部と、

素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成するモデル生成部と、

解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した 1 つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーション部とを備えることを特徴とする電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項 8】 各論理素子について、少なくとも出力ピンに接続するトランジスタの負荷容量値をパラメータとして、当該パラメータに応じた電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項 7 記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項 9】 各論理素子について、充放電電流に係る電流波形とともに貫通電流に係る電流波形をライブラリデータとして登録するライブラリを備えることを特徴とする請求項 7 記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項 10】 シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出することを特徴とする請求項 7 記載の電圧降下／電流密度解析装置。

【請求項 11】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電氣的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、

解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接

24

地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有することを特徴とする電圧降下／電流密度解析方法。

【請求項 12】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電氣的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、

解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有することを特徴とする電圧降下／電流密度解析方法。

【請求項 13】 半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電氣的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、

素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、

解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した 1 つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有することを特徴とする電圧降下／電流密度解析方法。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体集積回路の電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度をシミュレーションにより求める電圧降下／電流密度解析装置および電圧降下／電流密度解析方法に関するものである。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正内容】

【0016】この発明に係る電圧降下／電流密度解析装

25

置は、シミュレーション部が、算出した電圧降下に基づいて各論理素子に係る電流源から発生する電流値を補正した上で、再度電源配線および接地配線における電圧降下および電流密度を算出するようにしたものである。この発明に係る電圧降下／電流密度解析方法は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有するようにしたものである。この発明に係る電圧降下／電流密度解析方法は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有するようにしたものである。この発明に係る電圧降下／電流密度解析方法は、半導体集積回路に係るレイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程と、素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えて構成する解析用回路を作成する工程と、解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した1つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出するシミュレーションを実施する工程とを有するようにしたものである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0024

【補正方法】変更

【補正内容】

26

【0024】以上のように、この実施の形態1によれば、素子接続情報抽出部3により半導体集積回路に係るレイアウト情報から素子接続情報を抽出する工程を実施し、モデル生成部6により素子接続情報に基づいて解析用回路を作成する工程を実施し、シミュレーション部8により解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の電流波形を有する電流を発生させて電圧降下および電流密度を算出する工程を実施するように構成したので、イベントに連動して実際の電流波形に近い三角波状の電流波形を有する電流が流されるから、実動作に近いピーク電流を考慮した電圧降下および電流密度を高速かつ高精度に求めることができるという効果を奏する。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】以上のように、この実施の形態4によれば、方形波シミュレーション部により電流波形としてピーク電流値を電流値とする方形波を用いてクロック周期単位で電圧降下および電流密度を算出する工程を実施するように構成したので、シミュレーションをより高速に実施することができるから、より多くのテストパターンすなわちより多くの実動作条件下で電圧降下／電流密度解析を実施することができるという効果を奏する。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】以上のように、この実施の形態6によれば、素子接続情報抽出部3によりレイアウト情報から各論理素子に係る素子接続情報を抽出する工程を実施し、モデル生成部6により素子接続情報に基づいて論理素子を単位とした解析用回路を作成する工程を実施し、シミュレーション部8により解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した三角波を基本とした波形を有する電流を発生させて電圧降下および電流密度を算出する工程を実施するように構成したので、シミュレーションをすべて論理素子に基づくゲートレベルで処理することができるから、トランジスタレベルでの処理に比べて高速で大規模回路への適用が可能になるという効果を奏する。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

27

【0048】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、素子接続情報抽出部によりレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程を実施し、モデル生成部により素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成する工程を実施し、シミュレーション部により解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応した三角波の波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する工程を実施するように構成したので、イベントに連動して実際の電流波形に近い三角波の波形を有する電流が流されるから、実動作に近いピーク電流を考慮した電圧降下および電流密度を高速かつ高精度に求めることができるという効果を奏する。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】この発明によれば、素子接続情報抽出部によりレイアウト情報から、各素子並びに各素子間の電気的な接続関係に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程を実施し、モデル生成部により素子接続情報に基づいて充放電経路にあるトランジスタを電流源およびスイッチを有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成する工程を実施し、方形波シミュレーション部

28

により解析用回路に基づきイベントに応じて各クロック周期毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係るトランジスタに対応したピーク電流値を電流値とする方形波の電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する工程とを有するように構成したので、クロックサイクルベースでシミュレーションをより高速に実施することができるから、より多くのテストパターンすなわちより多くの実動作条件下で電圧降下／電流密度解析を実施することができるという効果を奏する。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0054

【補正方法】変更

【補正内容】

【0054】この発明によれば、素子接続情報抽出部によりレイアウト情報から、各論理素子並びに各論理素子間の電気的な接続情報に係る情報として与えられる素子接続情報を抽出する工程を実施し、モデル生成部により素子接続情報に基づいて各論理素子を電流源を有して構成されるモデルに置き換えるとともに電源配線および接地配線を抵抗を有して構成されるモデルに置き換えること等により構成する解析用回路を作成する工程を実施し、シミュレーション部により解析用回路に基づいて各イベント毎に充放電経路にある電流源から当該電流源に係る論理素子に対応した1つの三角波または複数の三角波の合成から成る波形を有する電流を発生させて電源配線および接地配線から成る給電系統における電圧降下および電流密度を算出する工程を実施するように構成したので、シミュレーションをすべて論理素子に基づくゲートレベルで処理することができるから、トランジスタレベルでの処理に比べて高速で大規模回路への適用が可能になるという効果を奏する。

フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

H01L 29/00

識別記号

FI

H01L 21/82

テーマコート* (参考)

T